

P-23 高波長分解分光観測によって得られた金星中間圏風速場の日変化

¹中川広務, ²M. Sornig, ¹星野直哉, ²G. Sonnabend, ²D. Stupar, ¹笠羽康正, ¹青木翔平, ¹村田功, ¹岡野章一 (1:東北大学, 2:University of Cologne)

序論

金星大気は、そのダイナミクスの特徴から大きく 3 つの領域に区分される。高度 45km から 70km に存在する雲層を含む高度 70km 以下の下層域 対流圏は、探査機ヴェネラ 4 号から 14 号、そしてパイオニアビーナスのエントリープローブによって風速・温度構造が実測された。雲層上部で 100m/s の風スーパーローテーションが吹き、温度は高度 65km 付近で 225K 程度から地表にかけて 735K まで上昇する [Steiff, 1987]。地表面付近は 90 バールにまで及ぶ高温高压の世界である。一方、高度 120km から上層域の熱圏は、太陽紫外線加熱による昼夜間対流 (30-160m/s) が支配的な領域である。その中間領域である高度 70-120km の中間圏は、昼夜間対流と数~100m/s 程度の東西風が混在する遷移領域であり、金星大気の上下間結合を理解する上で非常に重要な領域である。

これまでに、主に地上サブミリ・ミリ波観測によって中間圏風速場の観測がなされており、これら先行研究が示す風速結果に非常に大きなばらつきがあることから [e.g., Lellouch et al., 1994; Rosenqvist et al., 1995; Shah et al., 1991], 金星中間圏風速場においては非常に強い時間変動成分が存在することが示唆されてきた。しかし、観測は非常に断続的・限定的であり、特にサブミリ・ミリ波観測は空間分解能不足から各緯度経度成分を分離することが困難であったため、その時間変動のタイムスケールや振幅といった基礎的な情報から要因に至るまで謎に包まれたままである。高空間分解能を達成しうる赤外域の風速場観測が Goldstein et al. [1991]によって先行実施されているが、連続モニタによる時間変動の解明には至っていない。

上下間結合において、重力波や惑星スケールの波動伝搬による運動量輸送が重要な役割を担っていると考えられている。これは地球の成層圏における準 2 年振動といった現象としてよく知られており、これを金星大気に適応しようとしたものである。実際に、パイオニアビーナスにより得られた風速高度分布では波動構造を示唆する結果が得られており [Steiff and Kirk, 1982], ヴィーナエクスプレスによる最新の観測結果からも雲頂部において波状構造が多数確認されている [Markiewicz et al., 2007; Peralta et al., 2008]。結合部となる高度 100km 付近の中間圏風速場の観測が非常に重要であり、数値実験的研究においても、重力波効果を検討する研究が精力的に行われてきたが [e.g., Bougher et al., 1988; Zhang et al., 1996], 観測証拠不足から実際的な重力波パラメータ導入に至っていないのが現状である。

本研究の目的は、ケルン大学で開発された赤外ヘテロダイン分光器を用いた金星中間圏風速場の連続観測結果から時間変動を初めて明らかにし、その特徴をまとめることにある。特に、波動を考慮に入れた金星大気大循環モデル [Hoshino *et al.*, submitted] との比較により、その時間変動を起こしうる波動の特徴について考察する。

観測手法

観測対象は、高度 110km 付近における CO_2 non-LTE 輝線 (波長 $10.4 \mu\text{m}$) で、輝線のドップラーシフトを検出し、その高度の風速場を直接高精度に導出するものである (図 1)。誤差 $\pm 10\text{m/s}$ の高精度な観測のためには、波長分解能 $\lambda/\Delta\lambda = 10^7$ に達する超高波長分解能が要求され、これは直接分光方式では困難、実現出来るのはヘテロダイン分光方式のみである。ケルン大学で開発された赤外ヘテロダイン分光器 [詳細は *Sonnabend et al.*, 2008 を参照] は、アメリカ・アリゾナ州 Kitt Peak National Observatory にて McMath-Pierce 太陽望遠鏡 (1.5m 鏡, 視野 1.7 秒角) に実装され、定期的に金星中間圏風速場観測を実施してきた。特に 2009 年 3 月 16 日から 23 日に観測された連続観測データを解析した結果を示す。ドップラーシフトはガスセル吸収線の位置を参照に、ガウシアンフィットした観測輝線のピーク位置を決定することで導出する。この時、金星の視直径は 57 秒角に達し、先行研究にない空間分解が達成されている。

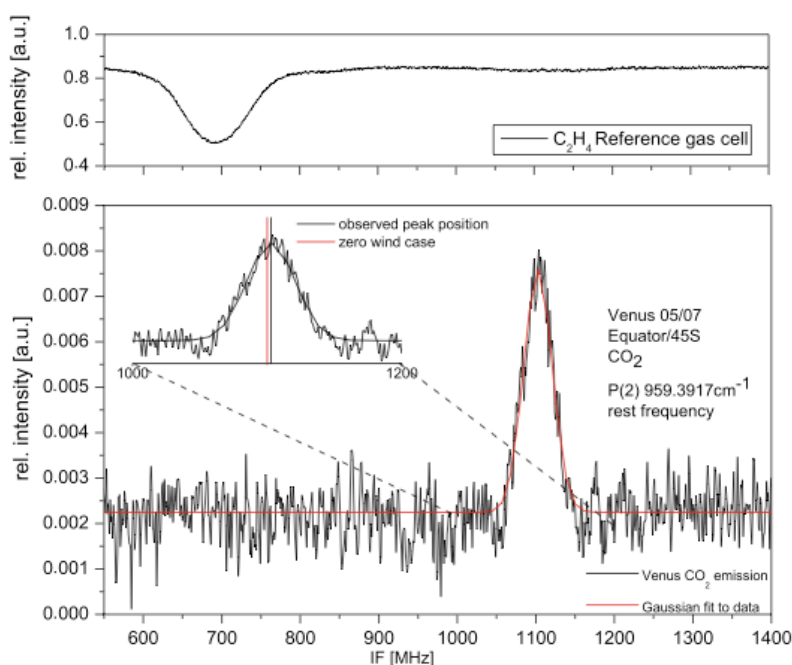


図 1. 観測された金星 non-LTE CO_2 輝線スペクトル (下図) とガスセルスペクトル (上図) [Sornig *et al.*, 2008].

結果と考察

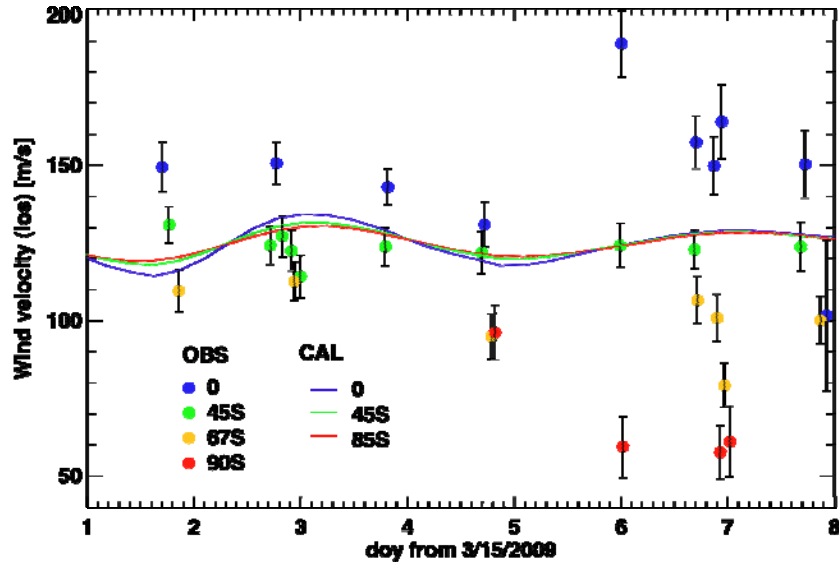


図 2. 2009 年 3 月 16 日から 23 日の昼夜境界付近に当たるリム風速観測結果.

昼夜境界付近に当たるリム観測結果を図 2 に示す. 横軸は日数, 縦軸は視線方向の風速場強度を示す. 緯度 0 度, 45 度, 67 度, 90 度帯の観測結果を色別に示してある. この図から, 数日スケールの数十 m/s に及ぶ強い時間変動がみてとれるが, これが本研究で発見された重要な点である. 時間周期はデータサンプル不足により不明であるが, その振幅は先行研究のばらつきに匹敵することがわかった. また, それが緯度帯によって位相が異なっている点も注目したい. 低緯度 (青) においては後半期間において増大傾向があるのに対して, 高緯度 (赤) では逆に減少傾向を示した. 中緯度帯 (緑) はその間, 比較的一定の推移を示した.

これら時間変動を理解するため, 我々のグループで開発を進めている波動を考慮した金星大気大循環モデルとの比較を開始した. モデル詳細は, ここでは割愛するが *Hoshino et al.* (PSS, submitted) を参照したい. 図 2 中の実線が計算結果に当たり, 緯度 0 度, 45 度, 85 度帯の結果が色別に示されている. 数値実験結果は, 約 4 日周期のケルビン波起源による 10m/s 程度の数日変動を示唆している. 注目すべきは, 観測された風速変動が計算結果のそれよりも, 非常に大きいことである. この風速時間変化が下層大気から伝搬してくる波動によるものだと仮定すると, 下層境界ならびに重力パラメータリゼーションをさら

に検討する必要があることを意味する。また、赤道域が他緯度帯よりも変動が大きいというのは調和的だが、緯度毎の異なる位相の変動は再現することができない。これは、陽に極渦等を考慮した下層境界を必要とすることを示唆している。今後、これらの不一致を解消するため、より現実的な波動パラメータや下層境界を導入した数値モデルを構築し、時間変動の要因解明を目指す。また、得られた観測データから昼夜間対流成分・東西成分を分離し、各緯度分布を数値実験と比較することで定量的な評価を進める。

結論

金星下層上層大気結合を理解するため、赤外ヘテロダイン分光器によって得られた中間圏風速場の連続観測結果を詳細に調べた結果、数日スケールの数十 m/s に達する時間変動を初めて検出した。数値実験との比較から、観測された風速場変動は、数値実験の予測を上回る大きな変動であることが明らかになり、その振幅はこれまでの先行研究のばらつきを説明できるほどの大きさであることがわかった。さらに高い空間分解能観測により、緯度毎に異なる位相を持つ時間変動が存在することも初めて明らかとなり、下層境界の極渦・スーパーローテーションの上層大気への影響を評価していく必要がある。

参考文献

- Bougher et al., *Icarus*, 73, 545, 1988.
Goldstein et al., *Icarus*, 94, 45, 1991.
Markiewicz et al., *Nature*, 450, doi:10.1038, 2007.
Lellouch et al., *Icarus*, 110, 315, 1994.
Lellouch et al., *Planetary Space Sci.*, 10, 1355, 2008.
Peralta et al., *J. Geophys. Res.*, 113, doi:10.1029/2008JE003185, 2008.
Rosenqvist et al., *DPS*, 1995.
Seiff and Kirk, *Icarus*, 49, 49, 1982.
Seiff, *Adv. Space Res.*, 7, 12, 5, 1987.
Shah et al., *Icarus*, 93, 96, 1991.
Sonnabend et al., *JQSRT*, 109, 1016, 2008.
Sornig et al., *Planetary Space Sci.*, 56, 1399, 2008.
Zhang et al., *J. Geophys. Res.*, 101, 23195, 1996.